第4章

ボード設計の道具を理解する

——基板技術の動向とCADシステムの変遷

前田真一

プリント基板はCAD（computer aided design；コンピュータによる設計支援）システムを使って設計する．現在のCADシステムの機能は非常に盛りだくさんで，一般のボード設計者がそのすべての機能を使うことはまずないだろう．しかし，CADシステムは，登場した当初からこれほど多くの機能を備えていたわけではない．プリント基板の複雑化や実装技術の進歩に対応するため，CADシステムは少しずつその機能を変化させてきた．ここではプリント基板や実装技術の歴史を振り返りながら，設計手法やCADシステムが持つ機能の変遷を紹介する．（編集部）

トランジスタという超小型部品とプリント配線板の組み合わせは，電子機器の小型化，高性能化のキー・テクノロジとして，急速に普及しました．それ以降，電子機器の小型化，高密度実装を実現するため，プリント配線板はつねに重要な役割を果たしてきました．

ここでは，プリント配線板の技術の変遷と電子部品の小型化，実装技術の発展にともなって，プリント配線板を設計するためのCADがどのように進歩してきたかを整理してみます．

● 70年の歴史を持つプリント配線板

日本におけるプリント配線板の歴史は，1937年（昭和12年）に始まったと言われています[1]．また，米国でもこれより少し前からいろいろな方法が提唱されていました．プリント配線板が広く使われるようになったのは，トランジスタが出現した，1940年代末から1950年代にかけてでしょう．プリント配線板が誕生・普及する前の電子機器の実装では，スイッチや真空管，部品は直接ケースに取り付けたり，穴を空けたりカットしたりしてアルミの部品取り付け筐体にネジ止めしていました．また，部品間の配線はすべて電線で結線していました（**写真1**）．

基板の大部分を占めるサブトラクティブ法（エッチング法）プリント配線板を作成する場合，まず，配線パターンを設計します．次に，このパターンをもとに，エッチング処理によって不要部分（パターン以外の部分）の基板表面の



（a）正面



（b）裏面

写真1 プリント配線板を使わないラジオ

筐体に取り付けられたアンテナやトランス，真空管などが電線で接続されている．アルミ筐体の内側も，電線によって真空管の間が配線されている．

4

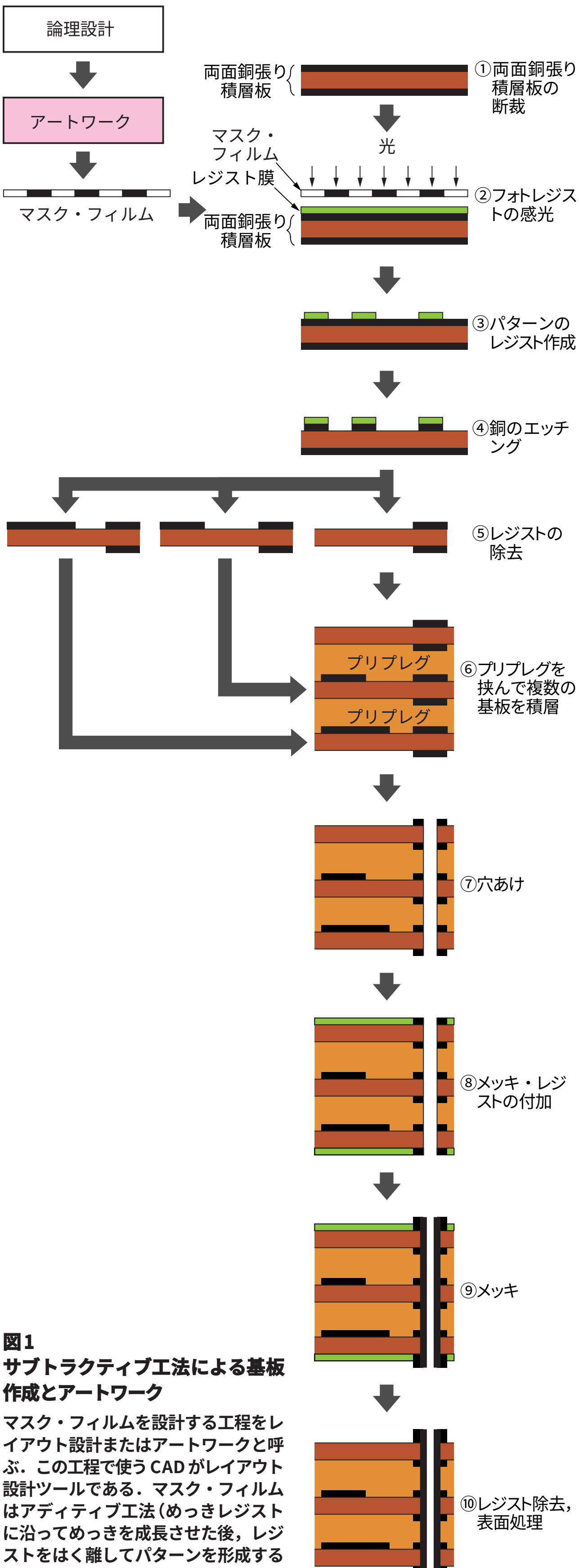


図1
サブトラクティブ工法による基板作成とアートワーク

マスク・フィルムを設計する工程をレイアウト設計またはアートワークと呼ぶ．この工程で使うCADがレイアウト設計ツールである．マスク・フィルムはアディティブ工法（めっきレジストに沿ってめっきを成長させた後，レジストをはく離してパターンを形成する方法）の基板製造でも必要となる．

銅はくをはく離させます（**図1**）．このエッチングのためのパターンのマスク・フィルムの設計を「アートワーク」と言います（右掲のコラム「アナログ/RF配線板のアートワーク」を参照）．CADが普及する以前や，現在でも小規模で簡単な基板は，人手でマスク・フィルムを作成します．

人手で作成する場合，フィルムに直接，コンパスや定規を使って製図（墨入れ）したり，あらかじめ決まった線幅や部品パッド形状をした粘着シートをフィルムに貼って，原寸や2倍のパターンを作成します．それを直接または写真で縮小し，マスク・フィルムとして使用します．

● ICの出現がCADの開発，普及，発展の原動力に

IC（integrated circuit）の出現は，レイアウト設計（部品の配置位置や部品間をつなぐ配線パターンの形状を決める設計）CADの開発と普及，発展の大きな原動力となりました．ICのパターンはプリント配線板のパターンに比べて格段に細く，配線パターンだけでなく絶縁層についてもマスク設計を行う必要があります．また，プリント配線板は機器ごとに個別に設計する必要がありますが，当初のICは汎用品として大量生産されることが多かったので，設計にある程度のコストをかけることができました．

ICの出現によって，コンピュータの性能が大きく向上し，価格が下がりました．そして，政府機関や大学，研究所だけでなく，メーカの設計現場でもコンピュータが使えるようになってきました．

レイアウト設計の要求と，設計にコストがかけられ，コンピュータが使えるようになってきた背景があって，ICの開発を対象としたレイアウト設計CADの開発が始まりました．

この時期のコンピュータ環境は，センタに大型コンピュータを設置し，利用者は端末からバッチ処理（ひとまとまりのタスクを一括処理）する形態でした．このため，CADの機能としても，自動配線や自動配置，エラー・チェック，CAM（computer aided manufacturing；コンピュータによる製造支援）データ作成など，バッチ処理を中心としたものでした（**図2(a)**）．

● ミニコン登場がきっかけでPCB設計専任技術者が誕生

ミニコン（小型コンピュータ）の登場によって，CADソフトウェアもミニコン上で稼働するようになり，やっと，プリント配線板のレイアウト設計にもCADが導入されるようになりました．

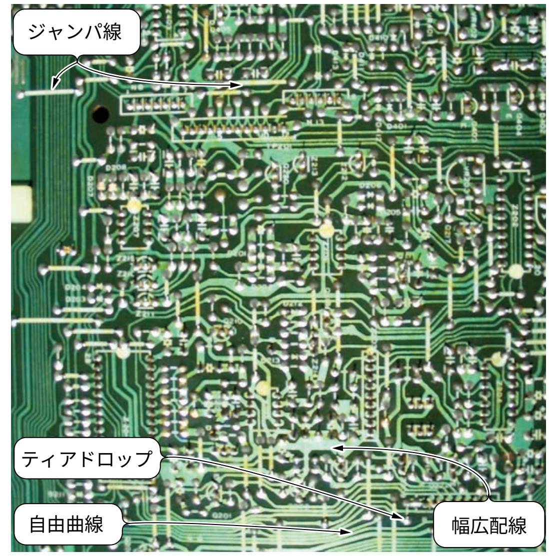
Column　アナログ/RF配線板のアートワーク

プリント基板のコストを抑えるためには，基板の層数を少なくし，性能を満足できる範囲で紙フェノールなどの安い材料を使うくふうが必要です．

片面基板では，すべての配線を一つの層だけで実現する必要があります．交差した配線を一つの層だけで配線するには，配線の一部をジャンパ線にします．とくに紙エポキシ片面基板では，銅はくの引きはがし強度が弱いので，部品ピンのはんだ付け部分は銅はくが基板からはく離しないように，パッドをなるべく大きくします．このため，カット・ランドやだ円ランド，ティアドロップなどのパターンを用います．また，配線が90 °または鋭角に曲がっている部分では，基板製造時のエッチングむらによって配線幅が変化しやすくなるので，配線の曲がり部はR付き配線（円弧を描く配線）や45 °配線にします（**写真A-1**）．

このようなジャンパ配線，ティアドロップ，R付き配線などは，アナログ回路基板でよく使われており，こうした機能は海外製CADよりも国産CADのほうが，機能，使い勝手ともに，数歩，先を行っています．

こうした複雑なパターンを描く機能は，高周波回路の配線設計でも必要とされています．高周波回路では，伝送線路特性の観点から，配線幅やパターンのコーナの形状について，急激な変化を避ける必要があります．また，逆に配線パターンの長さや形状をくふうして，キャパシタ（C）やインダクタ（L）などのディスクリート部品を形成することもあります．高周波回路設計用CADは，回路図上のLやCを等価な配線パターンに置き換える機能などをサポートしています．



写真A-1　アナログ基板の例

一部のアナログ基板では，曲線パターンやジャンパ配線，幅広配線（ベタ配線），ティアドロップなど，独特の配線手法が習慣的に利用されている．これらの方法は，高周波回路基板やフレキシブル基板，高密度パターンの基板などにも使われることがある．

4

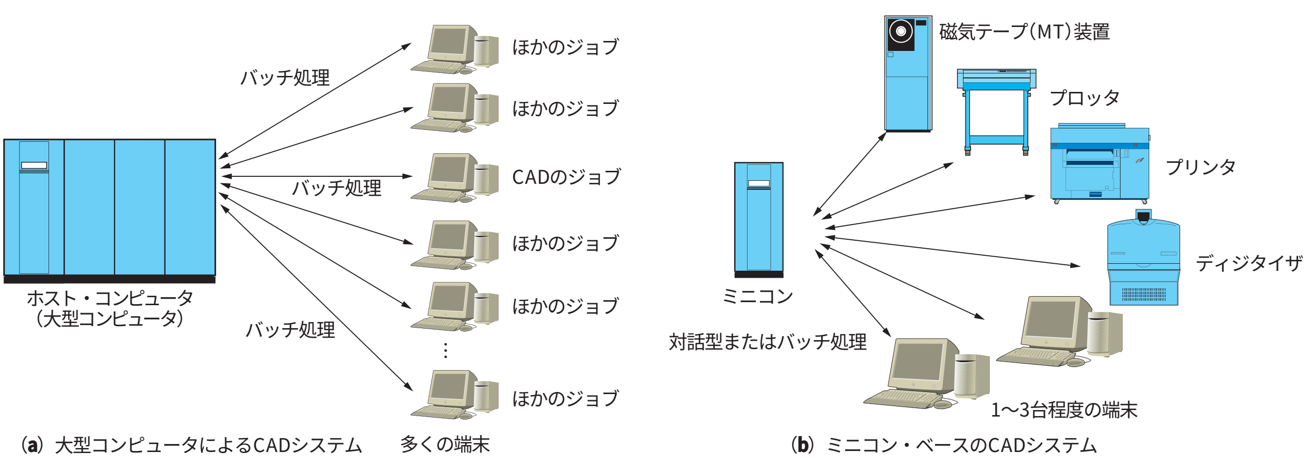


図2　大型コンピュータとミニコンによるCADシステム

（a）では，1台の大型コンピュータに多くの端末や周辺装置が接続される．多くのユーザがコンピュータに同時にいろいろなジョブを投入するので，リアルタイム応答ではなく，バッチ処理となる．（b）のミニコン・ベースのCADシステムは，1〜3台程度のグラフィックス端末，データのバックアップやCAMデータの受け渡しを行う磁気テープ装置，大型のペン・プロッタ，プリンタなどで構成される．ディジタイザはオプション．グラフィックス端末を使って対話的に設計できる．また，自動配線や設計ルール・チェック（DRC：design rule check），CAM出力などのバッチ処理にも対応している．

ミニコンでは，少人数の人間が1台のコンピュータを利用できるようになりました．同時に，コンソール端末としても，それまでのキーボード＋プリンタから，キャラクタ・ディスプレイ，グラフィックス・ディスプレイへと変化しました．このミニコンとグラフィックス・ディスプレイの組み合わせにより，CADによるインタラクティブな（対話的操作による）設計が可能となりました（**図2（b）**）．このような背景から，ミニコン・ベースの商用のプリント

配線板レイアウト設計CADシステムが米国や欧州で発売されるようになりました．

ミニコンは，それまでの大型コンピュータと比べて，大幅なダウンサイズと簡易化が行われ，運用も簡単になりましたが，それでも運用には専門の知識や，空調・電源設備の整った環境が必要でした．また，コスト的にも，CADシステムの稼働率を高めないと，とてもペイしませんでした．このため，専門のスタッフや設計者がCADの運用と基板設計を担当するようになりました．

ミニコンの普及は，基板製造装置にも大きな進歩をもたらしました．ミニコンが制御する精度の高いNC（numerical control；数値制御）ドリル・マシンや，写真を使わずに原版フィルムを直接作画するフォトプロッタなどの製造装置が普及してきました．これらの製造装置を制御するためには，精度の高い基板の設計座標データが必要とされました．

このように，基板を設計するCAD機能だけでなく，精度の高い製造データを作成するためのCAM機能も必要とされるようになりました．CADシステムは，そのままCAM機能もサポートしていて，CAD/CAMシステムと呼ばれるようになりました．

ただし，それまでアートワーク設計を行っていたすべての会社が高価なCADシステムを導入できたわけではありません．CAD導入を見送っている設計環境で，アートワーク設計から精度の高いCAMデータを作成する手段として，ディジタイザ・システムが，とくに日本で発展しました．これは作図したアートワーク図の座標を大型ディジタイザで読み取り，CAMデータを作成するシステムです．

この時点における電子部品というのは，DIP（dual in-line package）型を中心とした論理ICと，ラジアル部品やアキシャル部品を中心としたディスクリート部品が主体でした．すべての部品は，部品ピンを基板に空けた穴に挿入してはんだ付けする挿入実装部品です．DIP型はピン・ピッチ（ピン間の距離）が1/10インチ（100mil＝2.54mm）で，ディスクリート部品のピン・ピッチも2.54mmの整数倍になるように統一して設計していました．日本ではJIS（日本工業規格）が，2.5mmを基本格子とするように規定していました．

CADやディジタイザは，この2.54mm，または2.5mmの基本格子を部品のピン穴やスルー・ホール・ビア（すべての配線層を貫通するビア）の穴あけ格子，この基本格子を2分割から5分割程度に分割した副格子を配線パターンのための配線格子として設計していました（**図3**）．

基板の設計にこの格子を使うことによって，コンピュータの使用メモリと処理時間を大幅に削減することができます．このように2.54mm，または2.5mmを基本とした格子上にすべての配線や部品穴，ビアなどを配置する方法をオングリッド設計（グリッド設計）と呼びます．

● 回路規模増大と基板多層化がCADの新規導入を後押し

1チップ・マイコンが普及したり，IC内部の回路規模が増大するにしたがって，システムの回路規模も増大し，プ

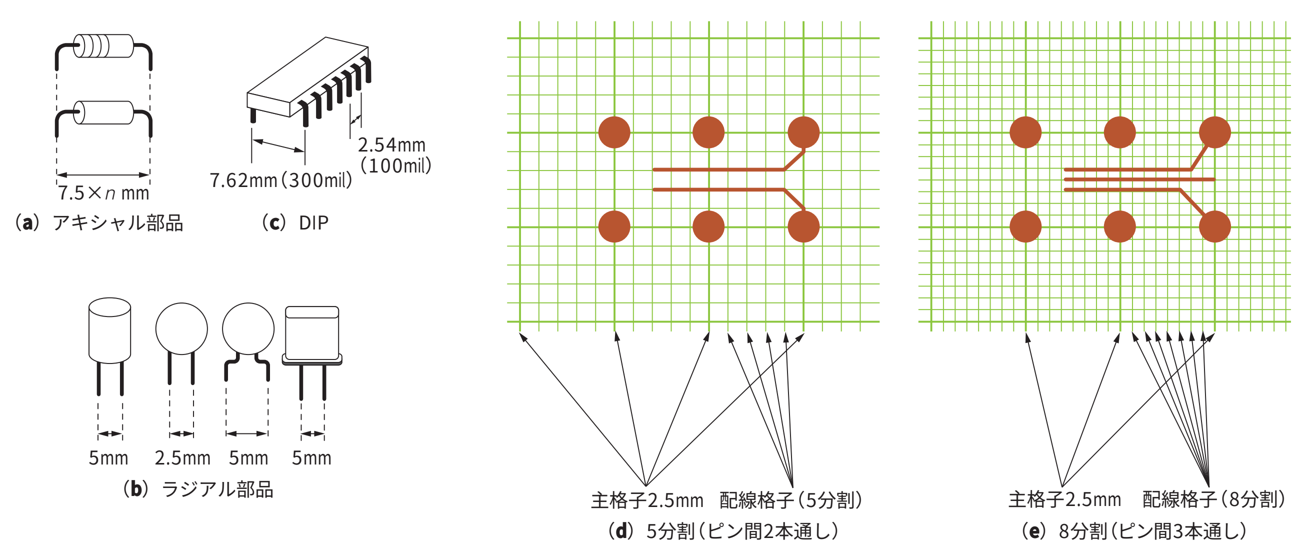


図3　オングリッド設計の部品と基板

部品ピンやビアは主格子上に配置する．この主格子を4分割，5分割，8分割など，いくつかに分割した副格子上に配線パターンが載る．部品のピン・ピッチはこの主格子の間隔にする．

リント配線板の多層化や大型化も進みました．この回路規模の増大や基板の多層化は，人手によるアートワーク設計を困難にしました．このため，多くの企業でCADの新規導入の機運が高まってきました．

また，市場が広がったことにより，多くの企業がCAD業界に参入してくるようになりました．ここでのCADの評価基準は設計工程の生産性です．このため，自動部品配置や自動配線といった設計自動化への期待が高まると同時に，使い勝手の良い対話型設計機能など，設計効率の引き上げをねらった要求が多くなりました．

回路規模が大きくなるにしたがって，論理設計は複雑になりました．そして，論理設計の段階で回路の妥当性を確認するために論理シミュレータが使われるようになりました．論理シミュレーションには論理接続情報が必要ですが，プリント配線板のレイアウト設計にも接続情報は欠かせないものです．論理シミュレーション用とCAD（レイアウト設計）用に，似たような接続情報を別々に入力するのでは二度手間です．そこで，コンピュータによる回路図入力・清書システム（回路図エディタ）が普及し始めました．回路図入力・清書システムで回路図を作成すれば，きれいな論理回路図面を作成すると同時に，さまざまな論理シミュレータやCAD（レイアウト設計ツール）に入力できる接続情報（ネットリスト）が作成されます．

また，この頃，米国を中心に，回路図入力・清書システムのベンダ，論理シミュレータのベンダ，CADベンダが徐々に合併し，総合EDAベンダが誕生しました．一つの会社が回路図入力・清書システムと論理シミュレータとCADを一体で開発することにより，回路図で指示した部品をレイアウト設計ツールで呼び出したり，レイアウト設計ツールで指示したネット（配線）を回路図で検索するなど，クロス・プロービングをはじめとするツール間連携の機能が強化されました（下掲のコラム「異なるCAD間のデータ連携」を参照）．

CADのプラットホーム（コンピュータ・ハードウェア）としては，1980年代後半になって急速に普及したエンジニアリング・ワークステーション（EWS）が主流となってきました．EWSの特徴としては，高性能な32ビットRISC（reduced instruction set computer）CPUの採用，Ethernetによるネットワーク機能の標準装備，UNIX系OSのサポート，大容量メモリと大容量ディスクの装備などがあり，CADにはうってつけのプラットホームでした．例えば，EWSの能力の向上により，対話型設計の際に設計ルール・エラーを即座に報告してくれる「リアルタイム・デザイン・ルール・チェック」の機能が実用化されました．

一方，パソコンはCPUが8ビットから16ビットに移り，性能が向上し，普及し始めましたが，ネットワーク機能やメモリ容量，ディスプレイの解像度など，まだEWSとの性能差は大きく，CADのプラットホームとしてかならずしも実用的とは言えませんでした．しかし，パーソナル・ユースの一部の簡易CADの中には，パソコン上で動作するものもありました（図4）．

● 表面実装技術の普及がCADの世代交代を促進

1980年代の終わりから，表面実装技術が急激に普及しました．表面実装技術はエレクトロニクス製品の「軽・薄・短・小」ブームを支え，携帯型音楽プレーヤや家庭用ビデ

Column　異なるCAD間のデータ連携

多くのCADベンダがさまざまなCAD（レイアウト設計ツール）を開発しています．これらのCADはそれぞれ独自のデータ構造を持っており，異なるCAD間で設計データをやり取りすることは困難です．

EDIF（electronic design interchange format）フォーマットやJPCA（Japan Print Circuit Association；日本プリント回路工業会）フォーマットなど，過去，何度もCAD間のデータ（ネットリスト）の受け渡しのための標準化が試みられてきましたが，結局，普及しませんでした．

1990年代前半には，CADを含めたすべての設計自動化ツールのデータ転送方法や制御情報のやり取りを共通化して，ユーザがそれぞれのツールを自由に組み合わせて使えるようにする「フレームワーク構想」を提唱しました．しかし，このフレームワークも，結局はそれぞれのベンダが自社のツールの接続に利用しただけで，「異なる会社のツールを自由に接続できる」というところまでは広がりませんでした．

1990年代半ばに，米国のあるベンチャ企業が優れた自動配線ソフトウェアを開発し，多くのCADベンダがこの自動配線ソフトウェアを採用（OEM調達）しました．この自動配線ソフトウェアと自社ツールを接続するため，CADベンダ各社は個別にそれらの間のインターフェース・ソフトウェアを開発しました．結果として，このベンチャ企業のデータ・フォーマットが，異なるCAD間のデータ受け渡しの共通中間フォーマットとなってしまいました．

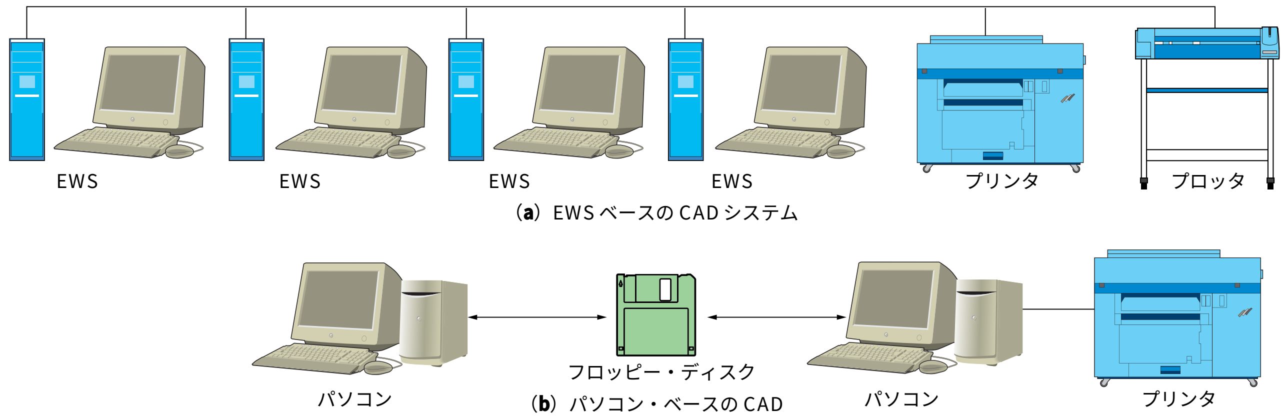
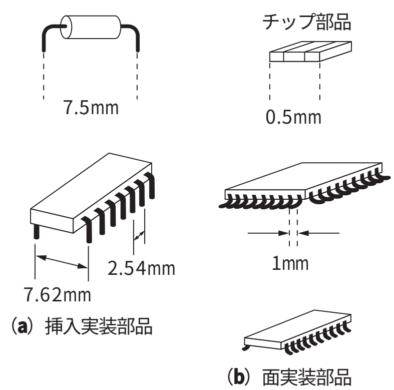


図4　EWSベースのCADシステムと初期のパソコンCAD

(a)のEWSベースのCADシステムでは，ネットワークに接続されているすべてのリソースを共有して使える．データはネットワークを介してやり取りする．CPUの処理能力，ディスク容量，メモリ容量などを必要に応じて強化・増設できる．(b)のパソコンCADでは，それぞれのパソコンが単独で動作し，パソコンに直接接続された周辺装置しか使えない．データは，おもにフロッピー・ディスクを介してやり取りする．CPUの処理能力，ディスク容量，メモリ容量には上限があった．



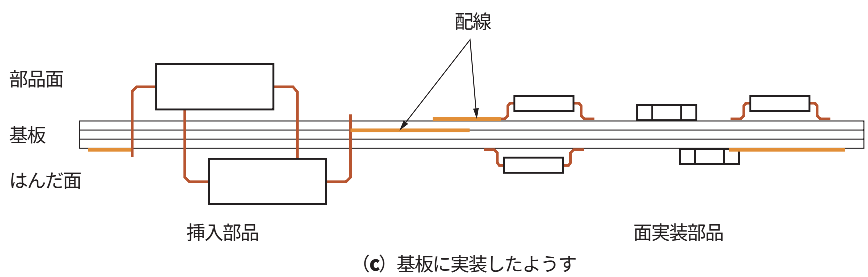


図5　挿入実装部品から面実装部品への変化

挿入実装部品は，基板の同じ場所の表裏に部品を配置することができないが，配線はすべての層から引き出せる．一方，面実装部品の場合，基板の同じ場所の表裏に部品を配置できるが，配線は部品実装層からしか引き出せない．また，面実装部品はピン・ピッチが狭く，種類が多様である(図の数値は代表的な例)．表面実装技術の出現により，CADはピン・データ処理やグリッドレス設計への対応を迫られた．

オ・カメラなどの市場を創出しました．同時に基板製造装置，実装機器，CADをはじめとする製造・供給する側にも大きな変化が生じました．CADについて言うと，面実装部品の普及がCADの基本的なデータ処理方式に変革をもたらしたのです(**図5**)．

従来の挿入実装部品の場合，部品ピン位置ではかならず基板に穴をあけます．多層基板ではすべての層にパッドがあり，どの層からでも配線を直接引き出すことができます．これに対して，面実装部品では，部品ピン位置の表面層にパッドがあるだけで，ほかの層にはパッドがありません．穴もあけられません．そのため，CADは，それぞれの層ごとにパッド情報と穴あけ情報を独立して設定できるようにする必要があります．

また，挿入実装部品では，基板の表面と裏面の同じ位置に部品を配置することはほとんどありませんが，面実装部品では，基板の両面に部品を配置することが珍しくありません．面実装部品では，基板上に部品ピンのための穴をあける必要がないため，ピン・ピッチを狭くすることで容易に多ピンのICに対応できます．

このため，それまで2.54mmと決められていたICのピン・ピッチがどんどん狭くなり，異なるピッチを持つ多種多様な形状のパッケージが出現しました．それまでのCADは，オングリッド設計を前提とする簡素なデータ構造を採用していましたが，ピン・ピッチの多様化により，CADのデータ構造を根本から変えなければならなくなりました．

多種多様なピン・ピッチの部品に対応するためには，CADがパッドとパッドの間隔やパッドと信号配線の間隔など，実際の座標や寸法のデータを持ち，実際の間隔をチェックできる必要があります．このように，グリッド上ではなく，実際の座標やパッド径，線幅，クリアランス(配

線間の距離）を使って任意の場所に部品や配線を配置できる設計をグリッドレス設計と呼びます．

部品の両面実装，およびピン・ピッチや配線パターンの微細化は，設計だけでなく製造やテスト（出荷前の最終検査）にとっても大問題でした．CADや論理シミュレータのデータをテスト工程でも利用するCAT（computer aided testing；コンピュータによるテスト支援）システムが普及し，バウンダリ・スキャンなどの基板検査技術が発達しました．

基本的なデータ構造にかかわる変更，およびEWSによって急速に普及したネットワークへの対応は，多くのCADの世代交代を促しました．

● PCIバスの登場で伝送線路解析がポピュラに

その後，部品の小型化による基板の高密度実装化，および大規模IC（LSI：large scale integrated circuit）の集積度と動作速度の向上に起因する電力消費の増大により，基板の発熱が問題となり，CADと熱解析ソフトウェアの連携が取られるようになりました．

さらにLSIの高速化は，基板上の配線パターンを伝送線路と考えてレイアウト設計を行わないと基板が正しく動作しないという状況を引き起こしました．とくに，1990年代前半に登場したPCI（Peripheral Components Interconnect）バスはその動作速度が33MHzと（当時としては）高速で，バスを伝送線路として取り扱う仕様になっていました．このため，CADで設計した配線パターンの伝送線路解析を行う伝送線路シミュレータが利用されるようになりました．その後，CADと伝送線路シミュレータの連携をより緊密にして，部品の配置検討設計と伝送線路シミュレーションの機能を一体化させたボード設計用のフロアプランナなども出現しました．

パソコンの高性能化とWindowsの登場により， それまでEWSで稼働させていた高機能CADシステムが，パソコンでも稼働するようになってきました．一方，機能的に見劣りしていたパソコン・ベースのCADシステムは，パソコンの能力向上に合わせて機能を上げてきました．このため，EWSから移行してきた高機能CADとパソコン上で稼働していた簡易CADの性能向上版が同じ市場で競合し始めました．

高機能CADは，それまでのパソコン・ベースのCADとの差異化を図るためもあり，注目を集め始めた伝送線路シミュレータやEMI（electro magnetic interference；電磁波妨害）シミュレータをはじめとして，論理シミュレータや部品管理システム，製品情報管理（PDM：product data management）システムなど，さまざまな設計関連ソフトウェアとの連携を深める方向へと向かいました．その結果，企業レベルの総合的な設計システムまで構築できるようになってきました．

● SOCに対抗してSiPが登場

ASIC（application specific integrated circuit；特定用途向け集積回路）の回路規模の増大と普及は，システムを1チップ上に集積する「SOC（system on a chip）」の考えかたを生みました．しかし，現実にシステムのすべての機能をただ一つのチップで実現できるはずがありません．そこで，一つのLSIパッケージの中に複数のチップや部品を組み込んでシステムを作ろうという「SiP（system in package）」の考えかたが出てきました（図6，p.48のコラム「SiPの原型，ハイブリッドICとMCM」を参照）．

また，汎用LSIやASICなどでも，LSIパッケージ内の配線設計が困難になってきました．これはLSIのピン数が多くなってきて，LSIチップからLSIパッケージのパッドまでの配線が難しくなってきたからです．さらに，信号の高速化によって基板設計に伝送線路解析が要求されたように，LSIパッケージ内配線やLSIパッケージのパッドなどの伝送線路特性が問題とされるようになってきました．プリント基板のレイアウト設計ツールの機能をベースに，LSIやSiPのパッケージ基板（インターポーザ）を設計するCADが出現しました．

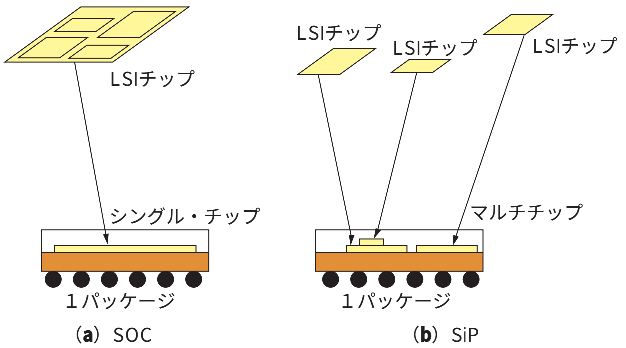


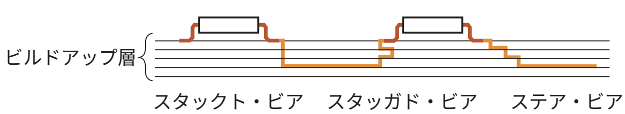
図6 SOCとSiP

システムを一つのシリコン・チップ上に集積するのがSOC（system on a chip），複数の部品からなるシステムを一つのパッケージに封止するのがSiP（system in package）．

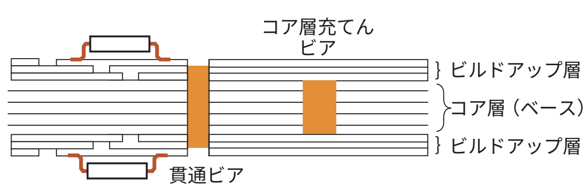
パッケージ基板の設計には機構設計が不可欠です．ピンの形状，パッケージの外形や部品の高さ，チップで発生する熱の放熱，熱によるパッケージの変形や熱応力，すべて機構設計用CAD（いわゆる機械系CAD）が取り扱う領域です．それまでは，パッケージ基板の配線パターンの描画にも，おもにこの機構設計用CADが使われていました．回路部分だけを基板設計用CAD（いわゆる電気系CAD）が担当するには，機構設計用CADと基板設計用CADの間で設計データを受け渡ししたり，異なるCAD間で運用上の不整合がないようにする必要があります．放射状配線やワイヤ・ボンディング，CAMデータ出力，配線情報の考えかたと処理方法，用語など，機構設計用CADと基板設計用CADの間には随所に小さな違いがあります．また，最近ではLSIチップを（垂直方向に）積層配置するchip on chipへの対応も必要になっています．

基板製造技術については，携帯電話やディジタル・カメラなどの小型化，軽量化の要求にこたえ，薄く，軽く，かつ高密度の配線パターンが実現できるビルドアップ基板が実用化されました．それまでの積層基板がスルー・ホール・ビアを基本としていたのに対して，ビルドアップ基板は，隣接する二つの層間だけを接続するIVH（interstitial via hole）が基本となっています．もちろん，スルー・ホール・ビアも使えます．ビルドアップ基板は，上述のパッケージ基板にも使われています．

ビルドアップ基板の設計を効率的に行うため，CADもIVHを取り扱えるようになってきています（**図7**）．



(**a**) 全層ビルドアップのビア



(**b**) ベース＋ビルドアップ層のビア

図7　ビルドアップ基板のビア構造

(a)の構造では，ビルドアップ基板のビアは隣接する層の接続が基本となる．離れた層の配線を接続するには，複数のビアを使う．(b)の構造では，通常の積層基板の上にビルドアップ層を追加している．ビルドアップ層については隣接する層を接続するビアを使える．これとは別に，全層を貫く貫通ビアや，コア層だけを貫くコア層充てんビアも使える．

● 次は環境対応の設計

基板設計用CADは，つねに，基板の製造技術，実装技術，そしてその時点で利用可能なコンピュータ・リソースの進歩に合わせて進化しています．コンピュータ・リソースの面から見ると，大型コンピュータからミニコン，EWS，そしてパソコンへとプラットホームが変化するに従って，CADの特徴や運用方法が変化してきました．CADの機能は，基板の新しい製造技術や実装技術の出現，信号の高速化などに対応する形で，次々と付加されてきました（**図8**）．

回路の高速化，基板実装の高密度化の動きは，今後も進むことでしょう．回路の高速化については，これまでのパラレル・バスがシリアル・バスに取って代わられつつあります．これに伴って，一挙に10倍くらいの信号速度の向上が予想されます．基板実装の高密度化については，ディスクリート部品の小型化と集積化によって，LSIを含んだ部品の基板内層実装，3次元実装などの普及が考えられます．

回路の高速化と基板実装の高密度化は，熱の問題を引き

Column　SiPの原型，ハイブリッドICとMCM

現在，注目されているSiPの原型として，ハイブリッドIC（HIC）やマルチチップ・モジュール（MCM）があります．また，高周波回路用ハイブリッドICとして，マイクロ波IC（MIC）と呼ばれるものもあります．

ハイブリッドICは，当時の技術では1チップ化できなかったディスクリート部品やパワー・トランジスタなどの回路を小さな基板上に実装し，これを一つのパッケージに封止して，一つの部品として取り扱えるようにしたものです．米国IBM社の大型コンピュータなどが採用しており，当時の最先端の実装技術でした．

MICではセラミック基板が採用され，印刷によって配線パターンを作成します．また，配線パターンの形状をくふうしてディスクリート部品（抵抗，キャパシタ，インダクタなど）を形成します．こうした技術は，現在の内層部品実装（embedded passive）技術につながっています．

1990年ごろに出現したマルチチップ・モジュールは，複数のICチップからなるシステムを1パッケージにまとめたものです．

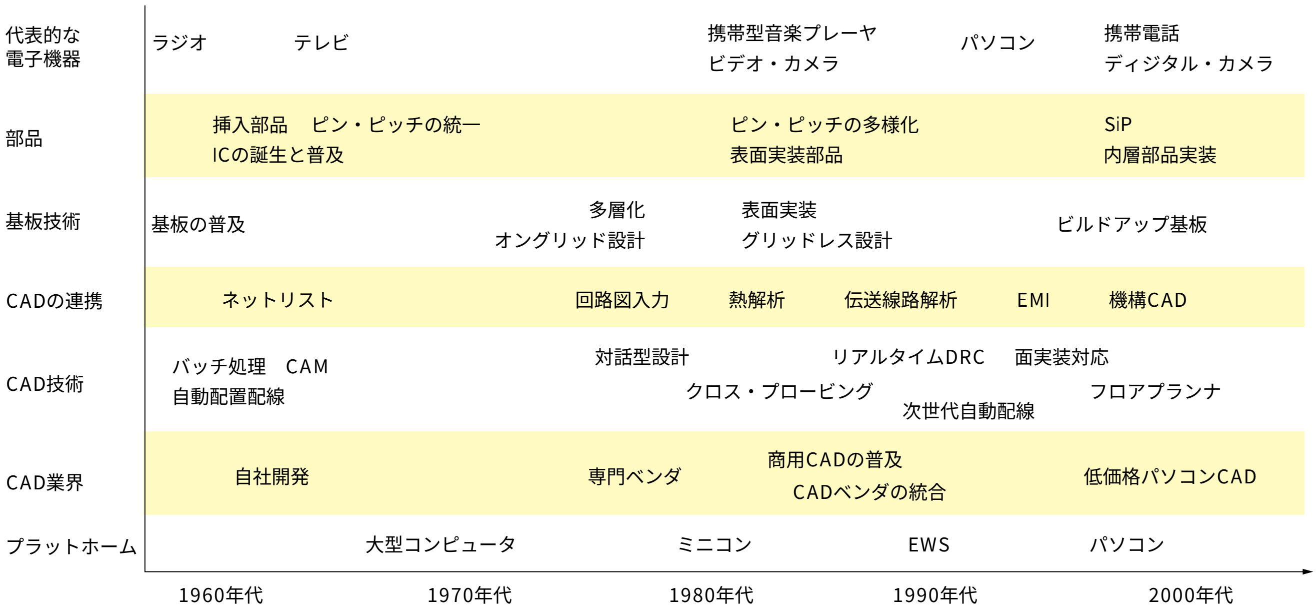


図8　実装技術やCAD技術の変遷

実装技術の進歩が，新しいエレクトロニクス製品を生み出してきた．また，CADは，実装技術の進歩とプラットホームの性能向上とともに進化している．なお，ここで示した技術は数年以上かけて徐々に変化している．そのため，この図の時間軸はあくまでも目安にすぎない．

起こします．機構設計用CADや熱解析シミュレータと基板設計用CADの，よりいっそうの緊密な統合が，今後の問題となるでしょう．また，GHz以上の信号については，損失回路の解析やEMI解析，3次元電磁界解析など，これまでより一段高度な解析が必要となります．

また，環境問題も大きなテーマです．今後，使用素材や部品など，各国の規制が厳しくなります．それに適応した設計基準が作られることでしょう．

今後のコンピュータの進歩と，これらの実装技術の方向，規制や社会の要求を取り入れて，今後も，CADは機能の強化を進めてゆくことでしょう．

参照・引用*文献

(1) プリント回路工業会；Prime Selection 創めます…未来への選択，http://www.jpcanet.or.jp/pr/prime.html，p.3，1999年.

まえだ・しんいち
設計コンサルタント

<筆者プロフィール>

前田真一．電子機器の開発業務を経てCAD技術を担当．米国および日本でCADのマーケティング業務を担当．1996年，渡米し，米国のコンサルタント会社で高速回路のPCB設計，伝送線路解析に従事．2001年に独立し，KEIデザイン・システムズを設立．米国と日本で高速回路のPCB設計，伝送線路解析を中心にコンサルタント業務に従事．著書に「見てわかる高速回路のノイズ解析」(工業調査会，2002年)，「見てわかる高密度実装技術」(工業調査，2003年)などがある．

4